

УДК 621.315

О. О. Сіробаба,
С. С. Овчинников, докт. техн. наук
 Харківська національна академія
 міського господарства

МАКЕТ ФОТОМЕТРА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЕКВІВАЛЕНТНОЇ ЯСКРАВОСТІ

У деяких умовах адаптації, наприклад в умовах зовнішнього освітлення, нічному керуванні автомобілем, знаходженні в шахтах і тунелях, досить складно визначити ефективність використання різноспектральних джерел світла [1, 2]. У основу системи, що дозволяє однозначно оцінити зорову ефективність джерела світла заданого спектрального складу за певних умов спостереження присмеркового зору покладено термін еквівалентна яскравість.

Існуючі методи знаходження еквівалентної яскравості засновані на математичному виразі Гершуна, що впливає із самого визначення еквівалентної яскравості.

$$L_{\text{ЭК}}(\lambda, L_{\text{ЭК}}) = L \cdot \frac{\int I_e^0(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int I_e^0(\lambda) V(\lambda, L_{\text{ЭК}}) d\lambda} \cdot \frac{\int I_e(\lambda) V(\lambda, L_{\text{ЭК}}) d\lambda}{\int I_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda} \quad (1)$$

До недавнього часу, конструювання вимірювального приладу зі спектральної чутливості, що змінюється від яскравості, було практично нерозв'язним завданням.

Запропонована нами методика розрахунку еквівалентної яскравості на основі яскравісних і колірних характеристик випромінювання [3], показала можливість спростити оцінку світлової ефективності джерел світла щодо їх використання в зовнішньому освітленні та забезпечила умови розробки пристрою для її вимірювання.

Розробка структурної схеми. Структурна схема макета складається з таких елементів: оптична система, блок світлофільтрів, фотометричний приймач випромінювання, блок обробки сигналу, дисплей.

Структурна схема зображена на рис. 1.

Світло, з досліджуваної поверхні надходить до оптичної системи (ОС), яка спрямовує його на фотоприймач (ФП). Між ОС і ФП знаходиться блок фільтрів, що скореговані під нормалізовані функції $V(\lambda)$, $V'(\lambda)$ та $x(\lambda)$. Далі фотоприймач перетворює оптичний сигнал у електричний, для подальшої обробки інтерфейсом комп'ютера або мікроконтролера. За наведеними формулами проводиться ітераційний процес. Після закінчення розрахунку результат наводиться на екрані.

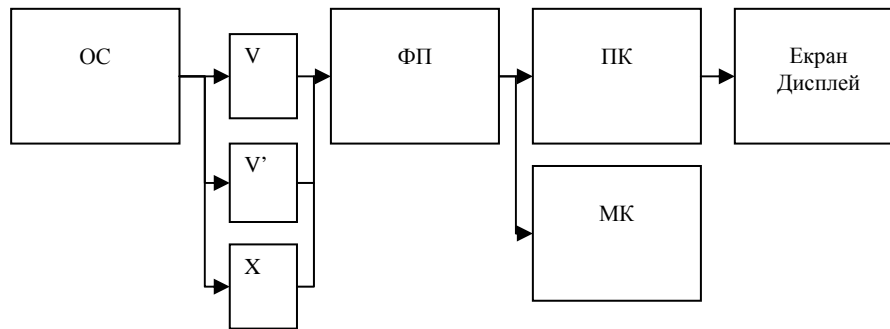


Рис. 1 - Структурна схема макету вимірювання еквівалентної яскравості.

Вибір приймача випромінювання. До групи фотоелектронних приймачів випромінювання відносяться фотоелементи з зовнішнім фотоэффектом, фотоелектронні помножувачі, фоторезистори, вентильні фотоелементи і фотодіоди.

Вибір фотоелемента повинен визначатися, насамперед, придатною спектральною характеристикою. Найважливішими якостями фотоелемента як вимірювального приладу є його стабільність і лінійність світлової характеристики.

Найбільш зручними приладами для роботи з малими потоками випромінювання є фотоелектронні помножувачі. У цих приладах фотоелектрони направляються напругою, що прискорює, до системи послідовних вторинних емітерів чи динодів. Результуюче посилення досягає $10^5 - 10^{10}$ разів.

Крім надзвичайно високої чутливості фотопомножувачі володіють рядом інших переваг. Аналіз показує, зокрема, що поріг чутливості фотопомножувача принципово краще, ніж у фотоелемента з таким ж катодом у комбінації з електронною підсилювальною схемою, що дає таке ж підсилення.

Вакуумні фотоелементи і фотопомножувачі з різними катодами відрізняються великою розмаїтістю спектральних характеристик. Це дозволяє вибирати прилади придатні для будь-якої області, починаючи від далекого ультрафіолету до близької інфрачервоної області. У тих випадках, коли чутливість вакуумних фотоелементів достатня, їхнє використання простіше, ніж фотопомножувачів, оскільки останні мають потребу у високовольтному і добре стабілізованому живленні.

За аналізом переваг та недоліків, зазначених вище, для вимірювання еквівалентної яскравості макетом установки ми обрали приймачем випромінювання фотоелектронний помножувач ФЕП-62.

Обраний приймач володіє наступними параметрами: діаметр робочої поверхні 10 мм, інтегральна чутливість фотокатода 600 мА/Вт, темновий струм $6 \cdot 10^{-8}$ А.

Розрахунок коригуючих фільтрів. При вимірі світлотехнічних параметрів велику роль відіграють світлофільтри, що коригують. Вони змінюють спектральний склад випромінювання, яке пройшло крізь них, за рахунок вибіркового поглинання. Функцію спектрального коефіцієнта пропускання фільтра, що виправляє спектр вихідного випромінювання до необхідної форми кривої спектральної щільності, можна установити зі співвідношення необхідної $\Phi'_{el}(\lambda)$ і вихідної $\Phi_{el}(\lambda)$ функцій спектральної щільності потоку випромінювання:

$$a \cdot \Phi'_{el}(\lambda) = \Phi_{el}(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \quad (2)$$

Коефіцієнт пропорційності a можна визначити з того ж рівняння за умови гранично максимального значення $\tau(\lambda)_{\max} = 0,92 [\Phi'_{el}(\lambda) / \Phi_{el}(\lambda)]_{\max}$.

Фільтрами, що коригують, можна коректувати не тільки спектральний розподіл випромінювання, але також і спектральну чутливість приймачів випромінювання. Для

цієї мети необхідно вибирати фільтр із такою спектральною функцією, що задовольняє умовам, аналогічним (2),

$$a \cdot S'(\lambda) = S(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \quad (3)$$

де $S'(\lambda)$, $S(\lambda)$ – необхідна і задана (вихідна) спектральна чутливість приймача відповідно, а a – коефіцієнт пропорційності.

При виборі елементів структурної схеми повинні бути розраховані фільтри, що коригують, для ФЕП-62. Також потрібно розрахувати реакцію приймачів випромінювання на яскравість досліджуваної ділянки.

Фільтр, що коригує, служить для приведення відносної спектральної чутливості приладу з фізичним приймачем до необхідної відносної спектральної чутливості.

В усьому видимому діапазоні довжин хвиль знаходиться відношення $V(\lambda)/S(\lambda)$. Вибирається максимальне значення і знаходиться коефіцієнт пропорційності m :

$$\tau(\lambda)_{\max} = m \left[\frac{V(\lambda)}{S(\lambda)} \right]_{\max} \Rightarrow m \quad (4)$$

Як відомо, якщо фільтр чи систему фільтрів виготовляють з оптичного скла, то $\tau(\lambda)_{\max}$ не може бути більше 0.92. Звичайно приймаємо $\tau(\lambda)_{\max} = 0.9$.

Потім визначаємо $\tau(\lambda)$ – коефіцієнт пропускання фільтра, що коригує, по всій видимій частині спектра:

$$\tau(\lambda) = m \frac{V(\lambda)}{S(\lambda)} \quad (5)$$

На інших ділянках спектра $\tau(\lambda)$ приймають рівним нулю. Результати розрахунку для приймача ФЕП-62 (S) наведені на рис. 2 - 4.

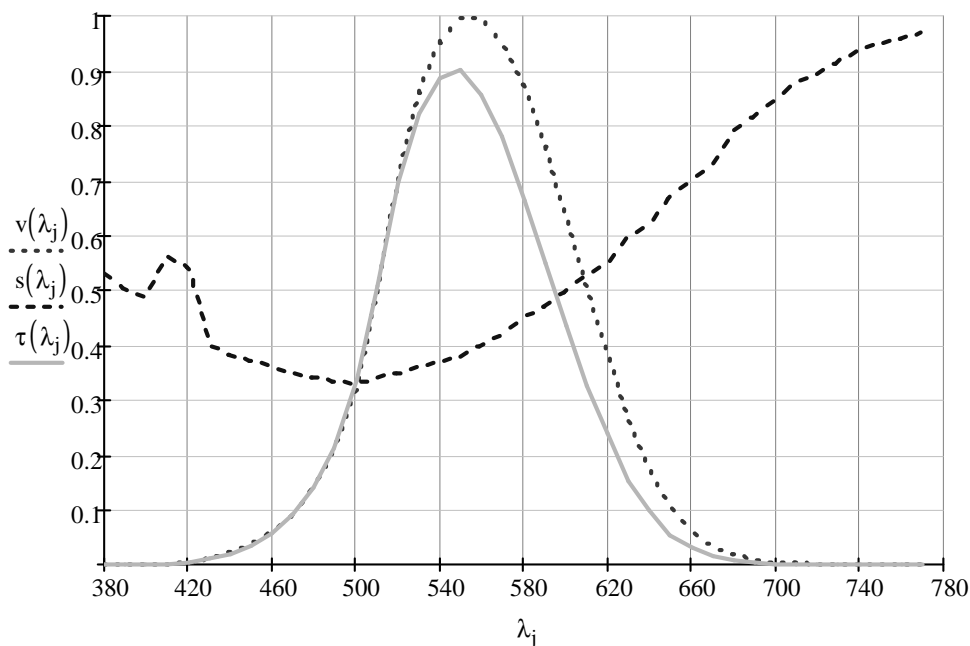
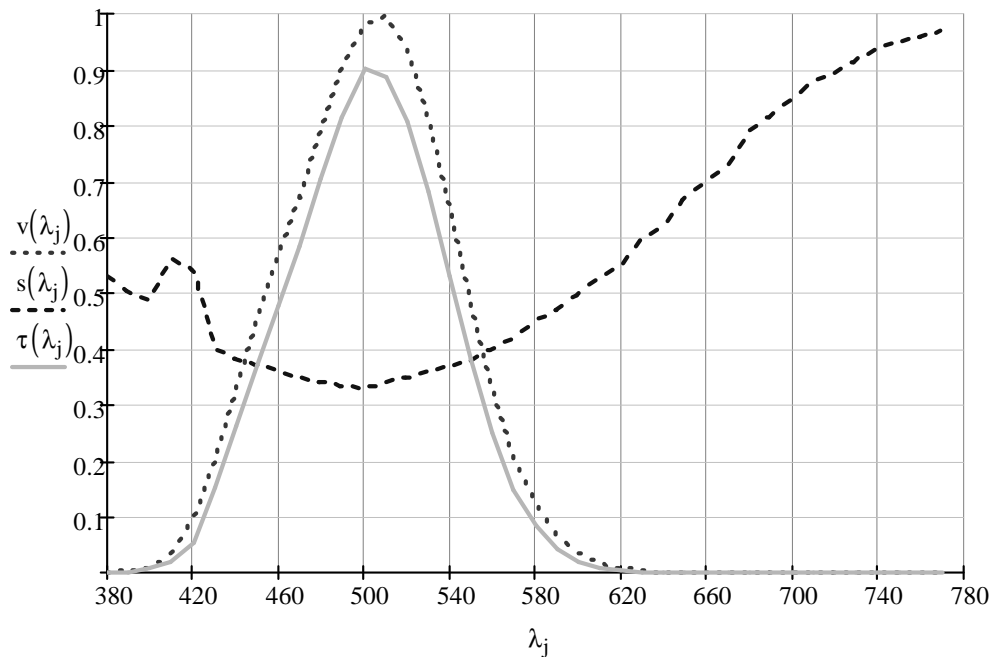
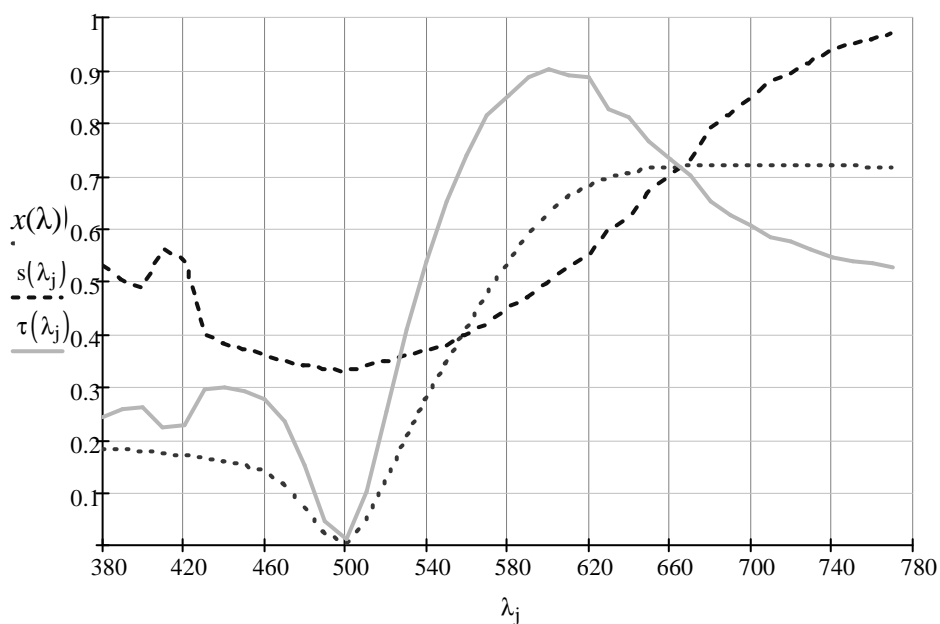


Рис. 2 - Коригуючий фільтр $V(\lambda)$.

Рис. 3 - Корируючий фільтр $V'(\lambda)$.Рис. 4 - Корируючий фільтр $x(\lambda)$.

Розрахунок оптичної системи. Для вибраних умов і приймача випромінювання розрахуємо мінімально прийнятне значення міри множини пучка променів.

Мінімальна яскравість, що вимірюємо: $L_{\min} = 10^{-3}$ кд/м²

Оскільки темновий струм приймача $i_t = 10^{-8}$ А, то для забезпечення вимірювання мінімальний струм сигналу повинен дорівнювати: $i_{\min} = 5 \cdot 10^{-8}$ А

Чутливість приймача $S = 0,6$ А/Вт, отже мінімальний потік випромінювання, що повинен надійти до поверхні приймача:

$$\Phi_{\min} := \frac{i_{\min}}{S} = 8.333 \times 10^{-8}$$

Звідси, міра множини пучка променів повинна дорівнювати не менш ніж:

$$G := \frac{\Phi_{\min}}{L_{\min}} = 8.333 \times 10^{-5} \text{ м}^2 \cdot \text{ср}$$

Для габаритного розрахунку оптичної системи задаємося діаметром польової діафрагми d_1 .

Коефіцієнт поперечного збільшення об'єктива β встановлюємо із співвідношення:

$$\beta = \frac{d_1}{d_2} \quad (6)$$

Оскільки приймаємо $l_2 = 0,1$ м.

$$\beta = \frac{5}{0.1} = 50$$

Знаходимо розмір вимірювальної ділянки об'єкта:

$$d_{\min} = \beta \cdot d_2 = 0,25 \text{ м}$$

Визначаємо фокусну відстань об'єктива f_1 за формулою лінзи:

$$\frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_2} = f_1 \quad (7)$$

звідки

$$f_1 = \frac{l_1 \cdot l_2}{l_1 + l_2}$$

Відповідно до ряду стандартних відстаней, остаточно обираємо: $f_1 = 105$ мм

Діаметр об'єктива звичайно складає $0,4 f$, виходячи з цього отримуємо

$$d_1 = 0,4 \cdot f_1 = 42 \text{ мм}$$

Розрахунок польової лінзи, яка відображує апертурну діафрагму на робочій поверхні приймача випромінювання, розпочинаємо з розрахунку коефіцієнта збільшення:

$$\beta_2 = \frac{d_{\text{пр}}}{d_1}, \quad (8)$$

де $d_{\text{пр}}$ - діаметр активної ділянки приймача.

Відстань від польової діафрагми до приймача знаходимо за співвідношенням:

$$l_3 := l_2 \cdot \beta_2 = 7.15 \times 10^{-3}$$

Фокусна відстань польової лінзи:

$$f_{\text{pd}} := \frac{1}{\left(\frac{1}{l_2} + \frac{1}{l_3}\right)} = 6.703 \times 10^{-3}$$

Відповідно розраховуємо інші параметри та отримуємо остаточні параметри оптичної системи:

Коефіцієнт пропускання оптичної системи розраховуємо за співвідношенням:

$$\tau_{oc} = (1 - \rho)^n, \quad (9)$$

де n – кількість меж розподілу в оптичній системі.

Для нашої оптичної системи $n=4$, отже $\tau_{oc} = 0,87$.

Реакція приймача на випромінювання визначається за виразом:

$$i_0 := L_{e0} \cdot G S_{max} S_{\lambda 555} \tau_{\lambda 555} \tau_{os}$$

$$i_0 = 1.133 \times 10^{-5}$$

Розрахуємо постійну фотометра.

$$C := \frac{L_0}{i_0} = 8.829 \times 10^4 \quad \text{кд/м}^2 \cdot \text{А}^{-1}$$

Макет пристрою складається з двох вузлів – оптичної системи із закріпленою у вхідному отворі лінзою, блок з касетами, у які вмонтовані світлофільтри, та приймача випромінювання з блоком живлення, інтерфейсом, та кріпленням, за допомогою якого з'єднані вузли установки. Загальний вигляд експериментальної установки представлено на рис. 5.

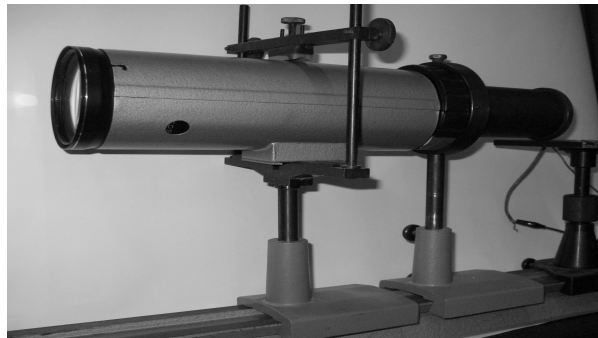


Рис. 5 - Макет фотометра для вимірювання еквівалентної яскравості

Блок світлофільтрів поділений на дві частини. В одній частині розташовується світлофільтр, що використовується тепер. Ця частина має наскрізний отвір, який за діаметром дорівнює світлофільтру в касеті. Інша частина – закрита, містить дві додаткові касети зі світлофільтрами. Лінза, яка закріплена у вхідному отворі, має великий діаметр. Кріплення лінзи з'єднане з отвором блоку світлофільтрів.

Вихідний отвір – 10 мм для розміщення приймача випромінювання. вихідний отвір закритий матеріалом так, щоб не створювати перешкод. Приймач випромінювання розміщений у площині вихідного отвору.

Проведені дослідження дозволили спростити оцінку світлової ефективності джерел світла щодо їх використання в зовнішньому освітленні та інших випадках функціонування присмеркового зору.

Література:

1. Халонен Л. [Зрительное восприятие и освещение в условиях сумеречного зрения](#) / Л. Халонен, М. Элохолма// [Светотехника](#). – 2006. – № 6. – С. 91-92.

2. Adrian W., Visibility of targets: Model for calculation. // Lighting Res. Technol. – 1989. - №21: pp. 181-188.

3. Серобаба А.А. Методика розрахунку еквівалентної яскравості на основі фізіологічних особливостей зорового аналізатора / А. А. Серобаба, С. С. Овчинников // Світлотехніка та електроенергетика. – 2010. - №1(21). - С. 45-53.

МАКЕТ ФОТОМЕТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ЯРКОСТИ

А. А Серобаба, С. С. Овчинников

В статье приведены основные принципы разработки фотозлектрических приборов для измерения эквивалентной яркости. Использование разработанной модели яркомера позволило получить результаты, которые точнее характеризуют эффективность источников света в осветительных установках наружного освещения, чем результаты измерений стандартными приборами.

PHOTOMETER MODEL FOR EQUIVALENT LUMINANCE MEASURING

A. A. Serobaba, S. S.Ovchinnikov

The basic principles of photo-electric devices development for equivalent brightness measuring. Application of the developed photometer model allows to get results which characterize efficiency of light sources in the options of outdoor lighting more precisely.